

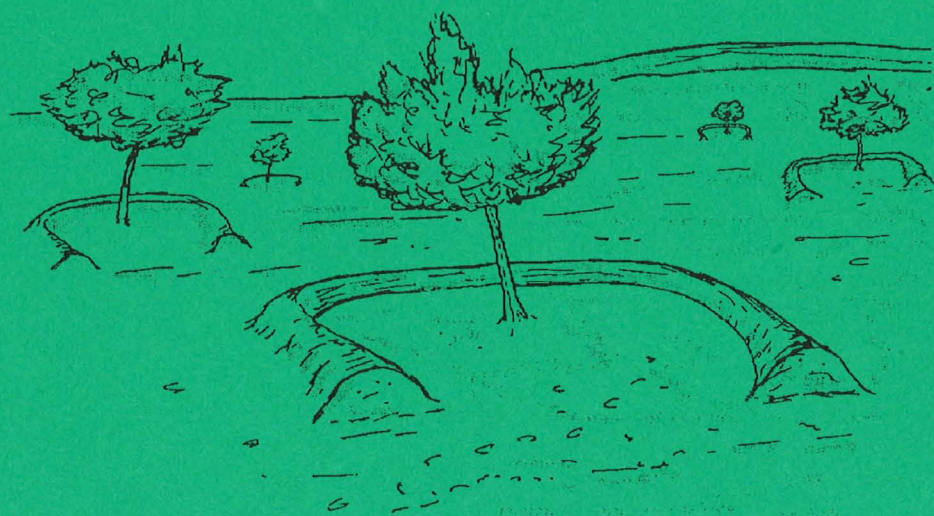


**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

RAINWATER HARVESTING - METODER FÖR UPPSAMLING AV REGNVATTEN FÖR BEVATTNING

En litteraturöversikt

Sigrid Stenlund



**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Avdelningsmeddelande 91:5
Communications**

Uppsala 1991

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--91/5--SE

Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

Distribution:

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik
Box 7014
750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 11 69, 67 11 81

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics
P.O. Box 7014
S-750 07 UPPSALA, SWEDEN

Tel. +46-(18) 67 11 69, +46-(18) 67 11 81

FÖRORD

Detta examensarbete består av två delar. Denna del är en litteraturöversikt över olika metoder att utnyttja nederbörden effektivare för odling (rainwater harvesting). Litteraturstudien har genomförts av agr stud Sigrid Stenlund.

Andra delen består i en fältstudie rörande bevattning i ett historiskt perspektiv i Sidi Bouzid, Tunisien. Fältstudien gjordes som en Minor Field Study hösten 1989 i samarbete mellan arkeolog Lena Johansson, Institutionen för antikens kultur och samhällsliv, Uppsala Universitet och Sigrid Stenlund. Den har publicerats under titeln "Irrigation et cultures traditionnelles dans la plaine d'Hichria, Sidi Bouzid dans l'antiquité et aujourd'hui (Arbetsrapport 145, 1990. International Rural Development Centre. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. 68 s. + bilagor).

Uppsala oktober 1991
Harry Linnér
Inst för Markvetenskap
Sveriges Lantbruksuniversitet

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
SUMMARY	4
1 DEFINITION AV RAINWATER HARVESTING	5
Små avrinningsområden	6
Stora avrinningsområden	6
2 HISTORIK	6
Negev-Nabateerna	7
Yemen-Sabeerna	7
Nordafrika	8
Egypten	8
Libyen	9
Tunisien	9
Algeriet	9
3 UTBREDNING AV RWH IDAG	9
Nordafrika	10
Afrika söder om Sahara	10
Mellanöstern	10
Asien	10
Amerika	11
4 FUNKTION AV NÅGRA OLIKA RWH SYSTEM	11
Indien - khadin	11
Israel - runoff farming	12
Microcatchments	12
Tunisien	13
5 KRAV PÅ MILJÖN	16
Klimat	16
Jordar	17
Grödor	17
Storlek och utseende på avrinningsområde	17
6 SOCIALA OCH EKONOMISKA ASPEKTER	18
7 DISKUSSION	19
8 SAMMANFATTNING	21
9 LITTERATURFÖRTECKNING	22

SUMMARY

This is a literature study on rainwater harvesting. The term rainwater harvesting is used for describing a wide range of methods for concentrating rainwater from a larger area to a smaller surface. This paper mainly discusses rainwater collection for crop production. The methods are commonly used in the arid and semi-arid zones. The traditions of rainwater harvesting go far back in time. Flourishing cultures in the Negev desert, in olden times Yemen (Saba) and in North Africa, used these methods which enabled human beings to survive in areas with very low rainfall. Strong social structures made it possible to maintain constructions which demanded a high labour input. Similar methods are still used today in Africa, Asia and the Middle East but are slowly vanishing, especially in Africa, due to the urbanisation and lack of labour.

It is difficult to evaluate the advantages of rainwater harvesting in the economic planning of a soil and water conservation project. Some of the assets are an improved soil nutrient management, retardation of erosion, retardation of soil salination processes and improved possibilities to cultivate on marginal lands. The methods do not demand technically advanced equipment. The drawbacks of the methods are that they demand high labour input and maintenance and they are totally put out of function when they are subject to extreme draught and inundation.

The depopulation of the countryside, local advisors' belief in West European technology and the inability of relief organisations to encourage and utilise local technology are some of the reasons for the disappearance of traditional methods of water harvesting. In some areas a large amount of wells have been dug which has led to an overexploitation of groundwater resources. Crops with a high demand on water have been used which has increased the need for irrigation. This leads to a system which in the long run will give problems with soil salination.

Several authors believe that these methods have a considerable potential for increasing the crop production in the arid zones. Other authors give a warning not to see these methods as a salvation for a hungry world. Social, economic and political factors are still the most important factors that influence a country's local production. The good results achieved from water harvesting in Israel took place under very special economical and social circumstances. One cannot look upon rainwater harvesting from a pure technical point of view.

Development and an increased usage of methods of rainwater harvesting are still necessary since rain is often the only available source of water. In the struggle against erosion and salinisation of soils and in the work for increased local food production these traditional methods of rainwater harvesting are still important.

1 DEFINITION AV RAINWATER HARVESTING

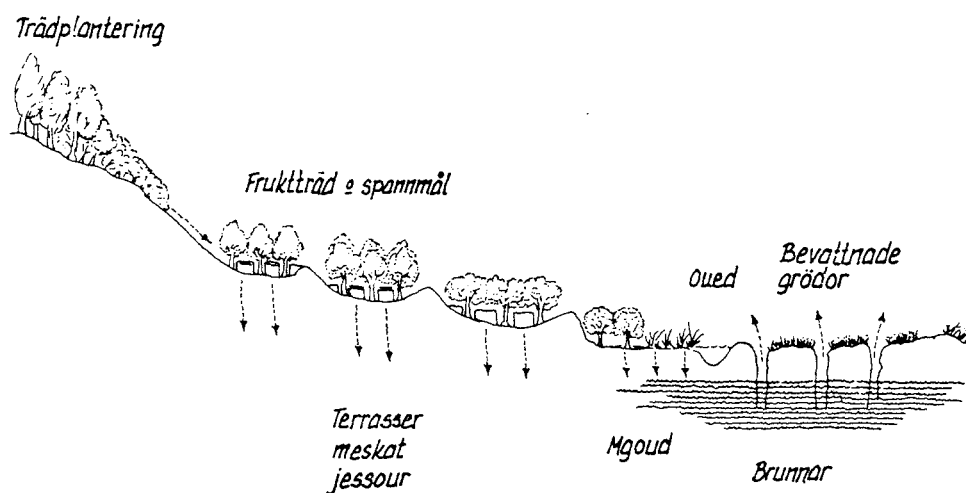
Rainwater harvesting (RWH) är ett vitt begrepp. Det innefattar alla metoder som har med insamling av regnvatten att göra. Regnvattnet samlas in från tak, inpregnerade eller behandlade markytor eller från sluttningar. Vattnet används antingen som dricksvatten för djur eller människor eller för bevattning. I denna uppsats kommer jag endast att behandla rainwater harvesting för bevattning. Rainwater harvesting betecknar jag metoder då man samlar in avrinnings- och ytvatten för bevattning och även kanalisering av överskottsvatten från floder som står torra större delen av året och svämmar över periodvis, "wadis" el. "oueds". Detta utesluter bevattning utifrån floder med konstant flöde året runt, brunnar och grundvattenanvändning.

El Amami (1983) skriver att i områden där regnmängderna inte svarar mot grödornas vattenbehov måste man "skörda" avrinningsvatten för att täcka vattenbehoven. Därav termen rainwater harvesting. Enligt Geddes är rainwater harvesting "insamling och förvaring av allt vatten, antingen avrinningsvatten eller flodflöden för användning till bevattning" (Boers et al., 1980). Myers (1975) beskriver RWH som "metoder att insamla vatten från ett område behandlat för att öka avrinningsvatten från regn eller snösmältning".

Boers et al. (1982) definierar rainwater harvesting som:

- Ackumulering av avrinningsvatten med hjälp av växtlighet, ytbehandling eller kemisk behandling.
- Insamling av avrinningsvatten. Micro Catchment Water Harvesting eller Runoff Farming Water Harvesting.
- Samling och kvarhållande av vatten i profilen genom minimering av avdunstning.

Metoderna används främst i arida och semiarida områden. De baseras på användning av ytvattenavrinning och förutsätter ett insamlingsområde och ett mottagande område. De flesta systemen använder vatten endast i närheten där det faller och inkluderar inte lagring av permanenta flodvattenströmmar eller upptagning av grundvatten. Water harvesting är ofta småskaliga system (Reij, 1988).



Figur 1. Traditionell vattenhushållning på en bergssluttning i Tunisien (efter el Amami, 1977).

Den grundläggande principen för traditionell vattenhushållning är ett direkt förhållande mellan användningen av grundvatten och ytvatten. Konstruktioner och odlingar i bergssluttningarna hjälper till att hålla kvar och låta vattnet infiltrera för att återfylla grundvattenmagasinet som kan utnyttjas genom brunnar längre ut på slätten, se figur 1 (el Amami, 1983).

Det finns lika många metoder som det finns olika naturliga förutsättningar och miljöer. Det är naturligtvis svårt att klassificera och dela in dessa olika system i meningsfulla grupper. Indelningen av water harvesting system kan göras på grundval av storleken på systemet vilket jag tycker är en bra indelning. Om vi antar denna grova indelning och följer Pacey & Cullis (1986) klassificering blir det enligt följande:

Små avrinningsområden (inom fältet):

a/ Microcatchments. En microcatchment är ett litet avrinningsområde varierande mellan 100-300 m² konstruerat för att samla in avrinningsvatten för ett enda träds vattenförbrukning. Metoden används i Tunisien, "negarim" i Israel och "demi-lunes" eller "cuvettes" i Västafrika.

b/ Konturremsor, vallar och terasser. Ex Marocko, Indien, N. Amerika. System liknande "meskat" i Tunisien. Vatten från ett uppsamlingsområde inom fältet sprids på området.

Stora avrinningsområden:

a/ Externa insamlingsområden.

* "Runoff-farming". Stora arealer fungerar som avrinningsområde, låga murar leder vattnet från berget ner till odlingar i dalarna. Konstruktioner liknande de i Israel vid farmen Avdat.

* Accumulering av vatten i bassängliknande system i sänkor mellan höga berg. "Khadin" i Indien, "ahar" i Indien, "teras" i Sudan och "liman" i Israel.

b/ Flöden i wadis och raviner.

* "Floodwater-farming", kanalisering av överskottsvatten från wadis ut på kringliggande fält. Metoden används i Yemen, Indien, Kina, Nordamerika och "Mgoud" i Tunisien.

* Terasserade wadis för uppbromsning av sediment och vatten med odlingarna i wadin. Metoder liknande "jessour" i Tunisien.

2 HISTORIK

De allra tidigaste hydrauliska kulturerna utvecklades kring de stora floderna Huang-Ho i Kina, Indus, Eufrat, Tigris och Nilen. Kulturerna växte fram i gränsområden mellan floder och öknar. Den agrara utvecklingen kopplas nära samman med social och juridisk utveckling. Bevattning existerade redan 6 000 år f Kr men den tidigaste dokumentationen finns från 4 000 år f Kr från Mesopotamien. Eufrat och Tigris har spelat en central roll för utvecklingen av bevattnat jordbruk (Lindh, 1988).

Evenari et al. (1961) talar om "ancient desert agriculture" och pekar på områden som under antiken använde rainwater harvesting som bevattningsmetod. Dessa områden är:

- Negev; Israel, Jordanien
- Södra Arabiska halvön; Yemen
- Nordafrika; Algeriet, Tunisien, Libyen, Egypten
- Syrien, Transjordanien
- Nordamerika (indianer)
- Sydamerika

Negev- Nabateerna

Mellanöstern utpekas av de flesta författarna som av största betydelse för utvecklingen av metoder liknande "Water Harvesting". Ökenstäderna Petra (Jordanien) och Avdat (Israel) i Negevöknen grundade sitt välstånd på bevattningssystem av typ runoff farming som tros ha utvecklats ungefär 2500 f Kr. Kvarlämningar från antika bevattningskonstruktioner finns i Negevöknen bergsområde. Det finns 10 000-15 000 ha sådana gamla bevattningssystem (Shanan et al., 1967). De har förmodligen sitt ursprung från den Israelitiska perioden ca 950-700 f Kr. Jordbruket hade sin blomstringsperiod i detta område under den Romersk-Byzantinska perioden ca 300-630 f Kr (Evenari et al., 1968).

Ytavrinningen på sluttningarna fångades in av låga, långa jord- och stenvallar vilka ledde vattnet och upplösta slampartiklar ner till dalarna där man odlade (Shanan et al., 1967). Evenari et al. (1961) delar in de metoder som användes i små avrinningsområden (<100 ha) och stora avrinningsområden (<10 000 ha). Enligt en undersökning gjord av Evenari et al. (1968) var water harvesting med hjälp av små avrinningsområden den vanligast använda metoden. Varje brukare hade sin speciella vattenrättighet på näraliggande sluttningar. Vattenrättigheterna var en lika viktig tillgång för runoff gården som den odlade arealen. Den som ägde en vattenrättighet kunde alltid odla upp ny mark men aldrig tvärtom (Evenari et al., 1961). Genomsnittligt förhållande mellan brukad areal och bevattnad yta var ca 1/20. Detta innebar t ex en brukad areal på 1-3 ha för ett uppsamlingsområde i bergssluttningarna på ca 20-60 ha.

Området karaktäriseras av skorpbildande lössjordar vilket ger hög avrinning. Dalbottenarna genomfuktades av avrinningsvatten och nabateerna kunde odla vete, korn, grönsaker oliver, mandlar och vindruvor (Evenari et al., 1968).

Yemen- Sabeerna

Antika Water Harvesting system har också funnits i Libyen, Irak, Syrien, Jordanien och på den Arabiska halvön, speciellt Yemen (Reij, 1988). Sabariket fanns i nuvarande Yemen. Sabeerna utvecklade ett bevattningssystem utifrån Wadi Dhana i Marib regionen. Bevattningssystemet användes under ca 2 500 år, mellan 2000 år f Kr och 700 år e Kr. Wadin är den största som leder genom hela den södra Arabiska öknen Ramlat as- Sab'etayn. En fördämning, 680 m lång och 16 m hög, konstruerades mellan de två bergen Jabal Nelaq el Awsat och Jabal el Quibli. Kanaler på var sida om wadin ledde vattnet vidare i ett kanalsystem som bevattnade stora arealer norr och söder om wadin. En stor översvämning ca 700 e Kr spolade bort större delen av vallen. Denna händelse finns beskriven i Koranen. Bevattningssystemet kunde inte längre användas och människorna övergav området då de inte längre kunde odla och försörja sig. Strukturer i landskapet som visar detta antika bevattningssystem finns bevarade idag och är väl synliga på flygfoton. Brunner och Haefner (1986) menar att dammens

konstruktion och kapacitet antyder att dess funktion var att höja vattennivån på de årliga floderna till sidokanalernas nivå för vidare avledning. Dess funktion var alltså inte att lagra vatten. En hög sedimenteringshastighet (1.1 cm/år) tyder också på att det rörde sig om en säsongsbetonad översvämningssystem, "floodwater irrigation". Vattnet från de två översvämningssystemperioderna fuktade marken ner till 60 cm, vilket räckte för växterna som alltid planterades strax efter regnperioderna. Enligt Pritchard (1974) visar fröavtryck på antika lerkärl att sabeerna odlade teff, millet, korn, havre och majs. Cirklar av lera visar att träd, buskar och palmer odlades (Brunner, 1983a). Palmerna bevattades troligtvis året runt från brunnar. Sabeerna odlade 9 600 ha och idag bevattnas 3 900 ha med modern bevattning (Schoch, 1978). Frågan är varför sabeerna var så framgångsrika med sina odlingar och bevattningssystem? Några av anledningarna kan vara:

- * Samhället var starkt, välorganiserat med starkt politiskt ledarskap. Kollapsen av bevattningssystemet kom då Ma'rib hade förlorat sin status som huvudstad (Glaser, 1897).
- * Årliga avsättningar av sediment på fälten gav regelbunden gödsling och förhindrade utarmning av jordarna.
- * Översvämningarna sköljde genom jordarna och förhindrade försaltning.
- * Systemets enkla funktion ledde till att man inte behövde bevaka dammen. Däremot krävdes engagemang i distributionen av vattnet längre ner i kanalsystemet.
- * Det fanns en akvifer under hela Ma'rib regionen som lätt kunde nås med ytliga brunnar. Detta vatten kunde användas för grödor som behövde vatten året runt (Electrowatt, 1978).

Det finns planer på att rekonstruera det sabeiska bevattningssystemet. Eftersom det skulle krävas en omorganisation av bönderna och en förändring från beroende av årliga flöden till beroende av regeringen, skulle detta vara mycket svårt att genomföra (Brunner & Haefner, 1986).

Nordafrika

Nordafrika, speciellt Tunisien, beskrivs som Roms kornbod och var under romartiden känt för sin bördighet. Det finns motstridiga teorier huruvida det har skett klimatförändringar eller inte under de senaste 2 000 åren. Rapp (1988) anser att det är en kombination av något torrare klimat, befolkningsökning och en därmed ökad överexploatering som har lett till markförorening i norra Afrika. Water harvesting var utbrett i Nordafrika under romartiden.

Egypten

I Marioutregionen, dvs kustområdet väster om Alexandria fram till den Libyska gränsen, finns många kvarlämningar från antika rainwater harvesting system. Detta område var under romartiden och fram till 1000-talet känt för sin bördighet (Kassas, 1972).

Libyen

Rainwater harvesting metoder användes allmänt i Libyen under antiken. I området kring Tripolitania kan metoderna ha använts under Fenicisk tid, dvs före Romartiden. Dessa metoder används fortfarande idag (Le Houerou & Lundholm, 1976).

Tunisien

Nederbörden i norra Tunisien, längs kustremsan och i bergsområden räckte till att ge bra skördar utan bevattning, dvs rainfed farming. Olivpressar finns kvar som bevis för att även torrare områden längre söderut kunde ge tillräckligt med vatten för olivlundar. Meskatsystemen i Tunisien är en kvarleva av vad som en gång var utbrett över hela centrala Tunisien under den romerska perioden fram till den arabiska medelåldern. El Amami (1983) tror att metoderna har sitt ursprung från den arabiska invandringen under 800-talet, då metoderna togs med från de gamla bevattningskulturerna i Mesopotamien och området runt Palestina. Troligtvis har metoderna utvecklats under långa perioder då inflytande från afrikanska, romerska och arabiska kulturer har påverkat teknikutvecklingen i området (Shaw, 1982).

Algeriet

Ett stort antal kvarlämningar från rainwater harvesting system finns i södra Algeriet längs "Fossatum Africae". Det är den romerska defensiva gränsen som är hundratals kilometer lång (Evenari et al., 1982).

3 UTBREDNING AV RWH IDAG

Enligt Reij (1988) används rainwater harvesting i följande länder idag:

- Nordafrika
 - Marocko
 - Tunisien
 - Libyen
 - Egypten
- Afrika söder om Sahara
 - Niger
 - Burkina-Faso
 - Begränsad kunskap om detta område. Svårt att säga om dessa system egentligen är water harvesting.
- Mellanöstern
 - Israel, (Negev)
 - Irak
 - Syrien
 - Jordanien
 - Yemen
- Asien
 - Indien
 - Pakistan
 - Kina
- Amerika

Nordafrika

Traditionella tekniker används fortfarande i Marocko, Tunisien, Libyen och längs den nordvästra Egyptiska kuststräckan (Reij, 1988). Atlasbergens småfloder i Marocko, Algeriet och Tunisien är områdets viktigaste vattenresurs och utnyttjas intensivt. Nilens vatten flödar från Etiopiens berg genom Sudan och Egypten (Rapp, 1988). Marocko, Algeriet och Tunisien har i de norra delarna högländ med medelhavsklimat. Detta innebär vinterregn i bergen och längs kusterna vilket ger vatten som räcker för oliv-, vin- och veteodling utan bevattning, s k rainfed farming (Rapp, 1985). I Sudan, öster om Nilen, används metoder då man bygger höga vallar längs med konturlinjerna så att remsor med mark kan svämmas över och vattenmättas ner till ett djup på en meter. När vattnet har sjunkit undan planterar man ofta snabbväxande millet. Efter planteringen har säsongens högsta temperatur överskridits och grödan kan växa under förhållanden med låg avdunstning (Pacey, 1986).

Afrika söder om Sahara

Traditionella tekniker för hushållning med mark och vatten används fortfarande idag i flera länder söder om Sahara men det är tveksamt om man ska definiera dem som water harvesting system. Kunskapen om traditionella system för mark- och vattenhushållning är begränsad och fragmentarisk (Reij, 1988). Sedan i början på 1980-talet har microcatchments konstruerats i relativt stor skala i Afrika söder om Sahara efter inspiration från Israel (Reij, 1988).

Mellanöstern

Evenari rekonstruerade antika RWH system i Negev i slutet på 50-talet vilket möjliggjorde försök och studier av microcatchments (mikroavrinningsområden) och "runoff" farming med externa uppsamlingsområden. Detta stimulerade i sin tur till forskning inom RWH speciellt i USA och i Indien. I norra och södra Yemen används floodwater farming. Vattnet kommer i störtfloder ner från bergen genom wadis och leds ut på fälten med hjälp av fördämningar och kanaler. Vattnet hålls kvar med höga jordvallar, ibland 2-3 m höga. Efter 10-15 dagar har vattnet infiltrerat och grödor kan planteras (Clouet, 1979).

Asien

I Indien i Rajasthanprovinsen finns idag system som kallas khadin vilket jag beskriver mer ingående nedan. Andra liknande system i Bihar kallas ahars. Avrinningsvatten från bergssluttningar däms upp med vallar och bildar bassänger i dalbottnar. Under den första perioden används ahars som reservoarer, varifrån man tar vatten för flera olika ändamål. Vatten från aharen kan också användas för att bevattna andra områden nära aharen. I en khadin drar man fördel av det vatten som infiltrerat och borrar brunnar strax utanför området. Detta vatten används som dricksvatten till djuren (Pacey, 1986).

I de bergiga och torra området i Baluchistan i Pakistan finns traditioner att konstruera terasser tvärs över sluttningar, s k khushkaba system, för att öka infiltration av vatten. "Sailabab system" fångar in naturliga flöden från flodsystem med jordvallar (Oosterbaan, 1983).

Kina använder metoder för att leda vatten i kanaler i relativt stor utsträckning på loessplatån i Shaanxi provinsen, vilket benämns "warping" (Reij, 1988).

Amerika

Traditionella tekniker av RWH används fortfarande av Hopi- och Papago-indianerna i Sonoraöknerna. Detta är "brush weirs" och stenvallar. Avrinningsvatten som transporteras i raviner tar med sig sediment som avsätts längre ner i dalbotten. Vattnet infiltrerar och lagras i dessa sedimenterade jordar. Indianerna väljer ut fält i dessa områden och det krävs endast konstruktion av låga vallar för att sprida ut vattnet mer jämnt. Nabhan (1984) menar att detta är effektiv närings- och vattenhushållning. På andra ställen bevattnas fälten med kanaler "arroyos" som utnyttjar gravitationskraften för att leda fram vatten (Reij, 1988).

4 FUNKTION AV NÅGRA OLIKA RWH SYSTEM

Indien- Khadin

Khadin är ett system för hushållning med mark och vatten. Avrinningsvatten och jordsediment samlas in och hålls kvar som i en bassäng med hjälp av en stor vall som konstrueras mellan bergsväggarna. Området där vattnet sprids kallas "khadinområde". Vattnet får stå kvar under monsunperioden och används under vintern till grödorna. Khadinområdet har en utflödesöppning och överflödesöppning så vattnet kan tappas ur när det är dags att plantera. Utanför khadinområdet borrar man grunda brunnar varifrån dricksvatten till djur kan tas (figur 2). Minsta möjliga kvot mellan bevattnad areal och avrinningsområde är 1/15. Vattnet som står kvar i en khadin kan ha ett djup på ca 50-125 cm. Vattnet får perkolera ner fram till och med november då man planterar vete eller kikärter utan föregående jordbearbetning. Den enda åtgärd som vidtas under växtperioden är manuell ogrärensning. Ingen gödsel eller kompletterande bevattning används. Skörden sker i april. De fördelar ett khadinsystem ger framför andra bevattningssystem på dessa jordar är:



Figur 2. Khadin - traditionell bevattningsmetod i Indien (efter Kolarkar et al., 1982).

- * En hög mikrobiell aktivitet skapas i khadinjordarna pga den långa period då jorden är uppblött.
- * Jorden får mer humus och är mer bördig än ökenjordarna.
- * Jordarnas fuktighetshållande egenskaper är bättre än ökenjordars.

- * Den regelbundna genomsköljningen av jordarna gör att det inte sker någon accumulation av salt i jordarna.

Däremot uppstår det problem med saltanrikning utanför området (Kolarkar et al., 1982).

Israel-Runoff farming

Runoff farming i Negevöknen är en metod som drar nytta av lössjordarnas skorpbildande förmåga. Bergssluttningarna fungerar som uppsamlingsytor för regnvatten som kommer under korta, intensiva, störtregn. Låga stenmurar konstrueras för att leda ner avrinningsvattnet mot dalarna, där lämplig areal i förhållande till uppsamlingsområde odlas. När vattnet når gården distribueras vattnet med hjälp av diken. Lämplig kvot odlad areal/avrinningsområde är ca 1/25.

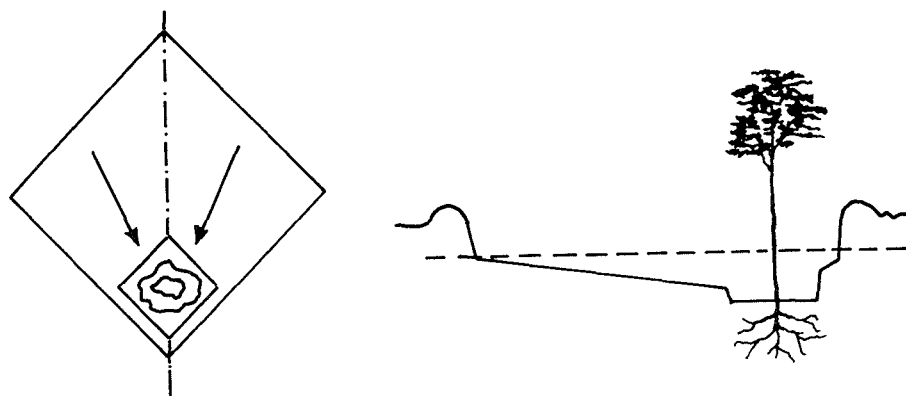
Evenari har på sin försöksgård i Negevöknen rekonstruerat antika rainwater harvesting system för att studera hur man mest effektivt kan exploatera regnvatten för bevattning. Försöksgården startades 1959, nära den antika staden Avdat som ligger precis vid foten av ett berg. Jorden består av ett lössjordsskikt som är 1.5-2.5 m djup. Evenari utgick från de antika konstruktionerna och byggde ovanpå dessa.

Evenari experimenterade även en hel del med microwatersheds och gav ut rekommendationer om "nigarin" systemet och hur det skulle implementeras. Denna metod har senare använts en hel del i Afrika söder om Sahara med varierande framgång (Orev, 1988).

Micro-catchments

Microcatchment water harvesting (MCWH) används i Nordafrika, Australien, Indien, Israel, Mexico, Afghanistan och Pakistan (National Academy of Sciences, 1974).

Evenari et al. (1971) definierar ett microcatchment som ett litet watershed varierande mellan 100-300 m² som konstrueras för att samla in avrinningsvattnet för ett enda trädsvattenförbrukning (figur 3). Boers et al. (1986b) beskriver MCWH som insamling av avrinningsvattnet från en yta mindre än 100 m² och



Figur 3. Microcatchment - metod för uppsamling av vatten till ett träd (efter Evenari et al., 1971).

förvaring av vattnet i rotzonen. Avrinningsområde A och infiltrationsyta, bevattnad areal B är två baselement av ett microcatchment. I infiltrationsbassängen planteras ett enda träd eller buske eller en annuell gröda.

Målsättningen med MCWH är att lagra tillräckligt mycket vatten i rotzonen under regnsäsongen för att täcka grödan eller trädets behov under växtsäsongen (Boers, 1986a). MCWH är metoder speciellt lämpliga för användning i öknarnas kantzoner med årsnederbörd på 250 mm och skorpbildande lössjor (Boers et al., 1986b).

Boers et al. (1986a) utvecklade en simuleringsmodell för olika klimatiska förhållanden och fysikaliska egenskaper hos jordarna för att få fram ett optimalt förhållande mellan avrinningsyta A och bevattnad yta B. Slutsatserna lyder enligt följande:

- * Extremt arida förhållanden är för torra för MCWH.
- * Vid lössjor och en årsnederbörd på 200 mm/år för bevattning av träd är ett bra förhållande: B ca 40 m² och A mellan 40 m² och 80 m².

Fördelar med MCWH:

- Konstruktionerna är billiga i jämförelse med andra RWH-metoder.
- Den relativa "vattenskölden" är större än den för större avrinningsområden pga mindre förluster då vattnet transporteras (Boers et al., 1980).

Nackdelar med MCWH:

- Vatten från lätta regn förloras genom evaporation.
- Det krävs arbete med underhåll och odling på stora ytor med endast ett litet antal träd.
- Avkastningen per arealenhet är låg pga den glesa trädtheten (Boers et al., 1980).

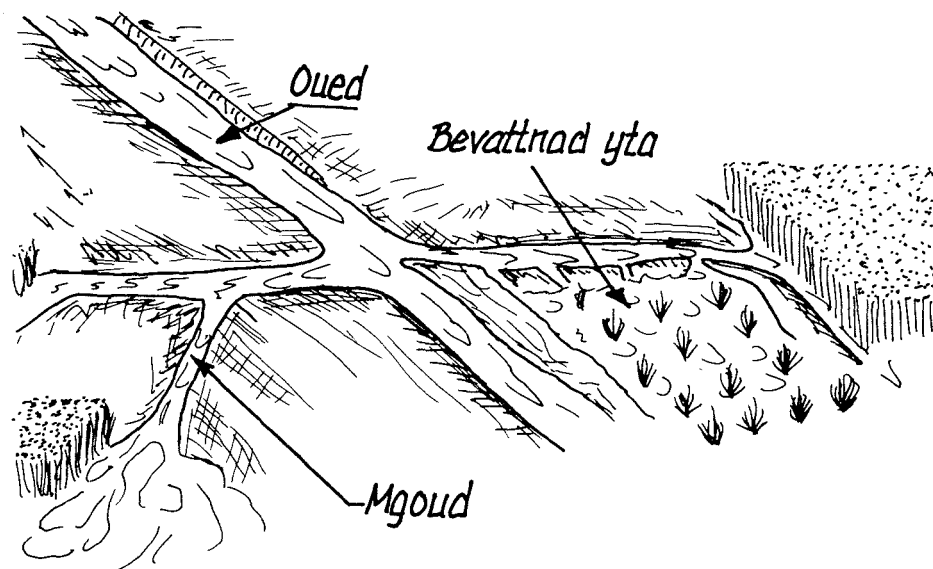
Tunisien

Bevattningsmetoder som går under beteckningen "rainwater harvesting" används i Tunisien idag och har ekonomisk betydelse framför allt i de södra delarna av landet. Metoderna benämns meskat, jessour och mgoud och jag ska beskriva dem mer ingående nedan.

Mgoud

En mgoud är en grävd kanal som utgår från en oued och leder ut på kringliggande fält (figur 4). De flesta stora ouederna finns i bergsområden och får sitt vatten från relativt stora avrinningsområden. Under perioder av starka vattenflöden kan jordbrukarna leda vattnet från oueden och ut på fälten. På detta sätt kan man effektivt utnyttja stora mängder avrinningsvatten som kommer från bergsområden, vilket annars skulle gå förlorat. Dessutom bromsar konstruktionerna upp sedimenttransporten och hämmar den kraftiga erosionen av ouederna som orsakas av de årliga översvämningarna. Det är viktigt att anpassa höjd och bredd på jordvallarna efter flödesmängderna för att få en effektivt fungerande mgoud. En mgoud kräver underhållsarbete några gånger per säsong, vilket kan göras med spade eller grävmaskin. De flesta jordbrukarna

i Sidi Bouzidområdet gräver sina kanaler för hand pga höga kostnader för maskinhyra. Vartefter ouederna gräver sig ner och blir djupare till följd av erosion, slutar högre liggande mgouds att fungera. Detta resulterar i att de odlingar som befinner sig i dessa områden överges pga av vattenbrist. Det blir alltför krävande att gräva nya mgouds för att få tillgång till vatten. Mgoudkonstruktionerna flyttar sig längre och längre ut på slätterna och mer vatten går förlorat genom ökad infiltration. De vanligaste grödorna vid bevattning med mgoudsystem är olivodlingar i samodling med vete. Metoden används främst i områden med en nederbörd på 200-400 mm/år. Metoden fungerar bäst i områden med kalkberggrund och med skorpbildande lössjordar. Mgoudkonstruktioner finns främst i mellersta Tunisien i bergsområden.



Figur 4. Mgoud (efter el Amami, 1984).

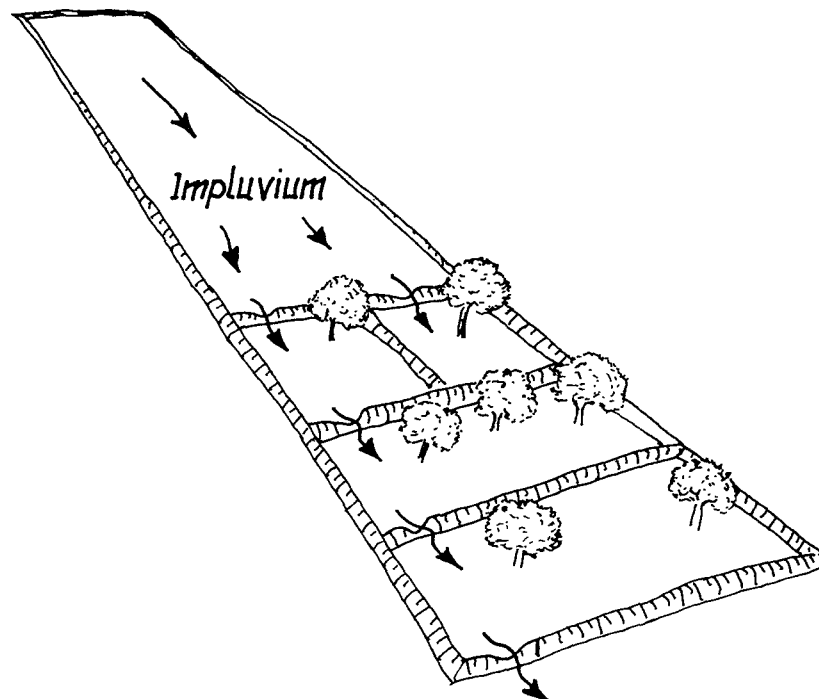
Meskat

Meskat (figur 5) innebär att vatten samlas upp i sluttningar med låg genomsläpplighet (kalk- eller gipsavlagringar) och leds mot olivodlingar (Berntsson, 1985). Längst upp i sluttningen har man ett "impluvium" som fungerar som insamlingsområde för regnvatten som får rinna ner till odlingarna. Odlingarna är kringgårdade av jordvallar (tabias) för att bromsa upp vattnet. Denna metod är inte lika arbetskrävande som mgoud, men används i områden med mindre avrinningsområden och därmed svagare flöden. Meskat brukas huvudsakligen för trädskulturer och används främst i områden med en nederbörd mellan 200-400 mm/år. Detta innebär att meskat huvudsakligen finns i mellersta Tunisien och i bergsområden.

Ett meskat system bör bestå av 1/3 odlad areal med exempelvis olivträd och 2/3 areal impluvium för insamling av regnvatten. Traditionellt användes impluvierna även för fårskötseln. Kombinationen av meskatbevattnade olivlundar och fårnäring utgjorde ett stabilt system för en rationell exploatering av resurserna. Befolkningsutvecklingen ledde till en överexploatering av de naturliga resurserna vilket påskyndade ett sönderfall av meskat-systemen.

Utökningen av olivlundar för olivindustrin gjorde att bönderna planterade olivträd även på impluviumdelarna. I början av seklet odlades endast 1/3 av

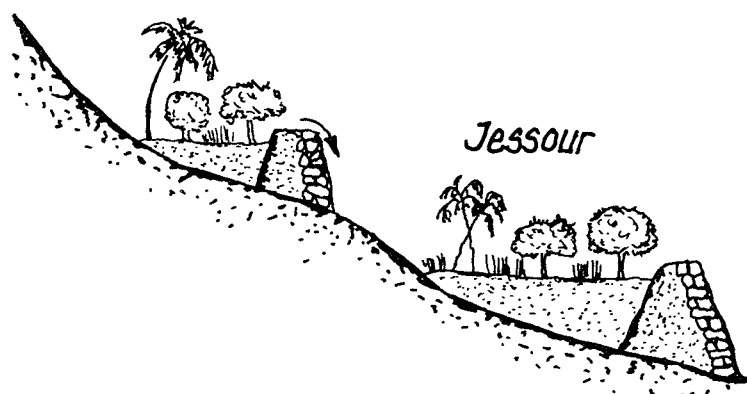
meskatarean till skillnad från 4/5 av arealen under 1970-talet. Sedan antiken var 10 m x 10 m den utprovade areal som ett olivträd behövde för att få tillräckligt med vatten. Så är icke fallet idag (el Amami, 1977).



Figur 5. Meskat (efter el Amami, 1984)

Jessour

En jessour består av små fördämningar i raviner eller oueder gjorda av jord eller sten (figur 6). Dessa fördämningar har den dubbla funktionen att dels bromsa upp avrinningsvatten, dels samla upp sediment för att skapa en odlingsbar jord. Sedimentet bildar mycket näringsrika jordar. Metoden används i områden med en nederbörd mellan 100-200 mm/år vilket innebär främst södra Tunisien. De vanligaste grödorna som odlas på en jessour är dadelpalmer, oliver och vete. Metoden har stor ekonomisk betydelse framför allt i södra Tunisien då odling i områden med extremt låg nederbörd möjliggörs. I raviner kan man skapa odlingsjordar som inte finns naturligt i dessa bergsområden.



Figur 6. Jessour (efter el Amami, 1984)

5 KRAV PÅ MILJÖN

Det finns vissa likheter i de krav som ställs på miljön mellan olika RWH-system. Dessa likheter skulle enligt Evenari (1981) vara följande:

- * Vatten är den viktigaste begränsande faktorn för jordbruket.
- * Områden som karaktäriseras av oregelbundna regnperioder med kraftiga årliga fluktuationer runt medelvärdet.
- * Den genomsnittliga evapotranspirationen är mycket högre än den årliga nederbörden.
- * Stora mängder nederbörd infiltrerar inte i marken vilket ger risk för erosion.

Olikheterna mellan områden skulle vara:

- * Skillnader i årlig nederbörd, temperatur och fuktighet.
- * Stora variationer i graden av ariditet.
- * Olikheter i nederbördsmönstret.

De faktorer som har störst betydelse för val av metod och möjligheten att lyckas med RWH är klimat, jordar och landskapets utseende. Markens yta, stenighet och vegetation har betydelse för avrinningsmängder och vattnets hastighet. Storleken på avrinningsområdet har betydelse för avrinningsmängder och krav på konstruktionernas stabilitet och motståndskraft mot starka flöden.

Klimat

Rainwater harvesting används främst i arida och semiarida områden. Enligt UNESCOs karta över världens arida områden används förhållandet P/ETP för att definiera olika zoner, där P = nederbörd/år och ETP = potentiell evapotranspiration/år. Den arida zonen definieras som $P/ETP = 0.03-0.2$ och den semiarida zonen har kvoten $P/ETP = 0.2 - 0.5$ (Bruins et al., 1986).

Nederbörd

Det är viktigt att inse de skilda behoven för rainwater harvesting mellan områden där regnet kommer under vintern och tropiska områden där regnet faller under sommaren då avdunstningen är väldigt hög. Metoder liknande Khadin i Indien är vanliga i områden med tropiska sommarregn, och där räcker en nederbörd på omkring 150 mm/år. Vad gäller metoder med externa avrinningsområden (typ runoff i Negev) men även micro-catchments i områden med vinterregn, räcker det med en nederbörd på ca 100-200 mm/år. I områden med tropiska sommarregn krävs en årlig nederbörd på ca 500-600 mm/år för microcatchments och små externa avrinningsområden (Pacey, 1986).

Regnet i öknar faller ofta i små skurar med 3-10 mm åt gången. Dessa regnmängder är väldigt ineffektiva. De väter ner till ett väldigt grunt djup och torkar upp genom evaporation innan växterna hinner utnyttja vattnet. Lössjordarna bildar skorpa då de blöts upp. Skorpan minskar vattenabsorptionen för jorden och ökar hastigheten för avrinningen. Dessa fakta utnyttjades maximalt av nabateerna i Negevöknen. Bergssluttningarna användes som uppsamlingsområden för att samla ihop avrinningsvatten som kunde användas i näraliggande fält. Ökenbrukarens målsättning var att förhindra infiltration på sluttningarna och på så vis producera maximal avrinning, medan brukaren i

mer fuktiga områden hade som målsättning att låta allt regn infiltrera i jorden och minimera avrinning (Evenari et al., 1961).

Nederbördsfördelning

Reij (1988) menar att antal nederbördstillfällen per år som ger avrinning är en bättre indikator för möjligheterna att använda RWH än mängden regn/år i mm. Nederbördens frekvens, varaktighet och intensitet är mycket viktiga data för att bedöma förutsättningarna för RWH.

Jordar

Sand- och mojordar är bättre vattenreservoarer än lerjordar. Vattnet perkolerar djupare ner i profilen och går inte förlorat genom avdunstning (Arnon, 1972). Vatten som finns lagrat i rotzonen kan utnyttjas av växten och vattenrörelserna kan även gå uppåt i profilen från ett djup upp till 180 cm under rotzonen (Gardner, 1964). Många jordar i den arida zonen har låg absorptionskapacitet för regnvatten. Orsakerna till detta kan vara gles växtlighet, stenar, klippor, lågt organiskt innehåll och vissa jordars skorpbildande egenskaper (Arnon, 1972). Den skorpbildande förmågan hos vissa lössjordar kan å andra sidan utnyttjas vid rainwater harvesting i system liknande runoff farming i Israel.

Microcatchments kräver djupa jordar med hög lerhalt för att hålla kvar fuktigheten i rotzonen. Samtidigt krävs skorpbildande förmåga för att leda vattnet till plantan.

Externa avrinningsområden för RWH fungerar bäst på skorpbildande jordar, t ex lössjordar i Negevöknen, eller impermeabel mark med t ex kalkberggrund. Odlingsjordarna bör vara djupa (1.5-2.5 m), ha hög vattenhållande förmåga och låg salinitet.

System liknande "khadin" i Indien fungerar bäst på lerjordar, då vattnet kan hållas kvar under hela växstsäsongen. I sandjordarna i Rajasthan, får khadinjordarna tillfredsställande vattenhållande kapacitet först efter flera års sedimentering (Pacey, 1986).

Grödor

Val av lämpliga grödor vid RWH är minst lika viktigt som val av metod. Fleråriga grödor på microcatchments bör vara torkresistenta. Ettåriga grödor bör ha kort växstsäsong (millet), djupa rotsystem (t ex sorghum) och tolerans för såväl vattenöverskott som torka (Pacey, 1986). Agroforestry kan vara fördelaktigt. Grödorna konkurrerar inte om vatten i agroforestrysystem med oliver/vete i Tunisien. Trädens krona kan bilda skydd för spannmålen mot alltför stark avdunstning.

Storlek och utseende på avrinningsområdet

Sluttningarnas lutning och längd

Branta och impermeabla sluttningar ackumulerar mer avrinningsvatten än mera mjukt sluttande bergskanter (Yair, 1983). Reij (1988) menar att generellt sett är RWH mer lönsamt på sluttningar med svag lutning pga att det inte krävs så kraftiga konstruktioner för att uppnå samma lagringsvolym. Dessutom är risken för erosion mindre vid svagare sluttningar.

Vegetationen

Växtligheten påverkar infiltrationshastighet, skorpbildning, avrinning och erosion. Sharma et al. (1984) menar att växtlighet och markens ytförhållanden har större betydelse för infiltrationshastigheten än jordart och jordens struktur. Vid bevattning med water harvesting skulle markytan rensas på växtlighet i områden där man vill öka avrinningen. Nyttan med detta borde ifrågasättas med tanke på risken för erosion.

Storlek på avrinningsområden

Jämförelse mellan stora och små avrinningsområden enligt försök gjorda av Evenari et al., 1961 i Israel, Negevöknen

Stora <10 000 ha	Små < 100 ha
Det krävs minst 10-15 mm för att sätta igång ett flöde i en wadi.	Det räcker med 3-6 mm regn för att sätta igång ett flöde.
Endast 3-6 % av årsnederbörden rinner av som avrinningsvatten och kan därmed samlas upp.	Så mycket som 20-40 % av den årliga nederbörden kan rinna bort som avrinning.
Kan orsaka störtfloder vilket kan rase- ra även de starkaste konstruktioner.	Lättare att kontrollera flödet.

6 SOCIALA OCH EKONOMISKA ASPEKTER

Metoderna för water harvesting har en lång tradition. I många områden var produktion över huvud taget inte möjlig utan dessa metoder. I Negev, Saba och romerska Nordafrika gjorde en stark social organisation att man kunde genomföra dessa arbeten. Överbefolkning och stora djurhjordar ledde till att dessa enkla tekniker ej längre kunde försörja fler människor. Metoderna övergavs vilket ledde till minskad växtlighet och begynnande erosion i dessa områden.

El Amami (1983) har skrivit mycket om praktiska och sociala konsekvenser av förändringar från traditionella till moderna bevattningsmetoder i Tunisien. Han menar att början på utvecklingen från traditionella system skedde under kolonialtiden. Staten övertog vattendistributionen dels genom förstatligandet av alla vattenresurser 1920 och dels genom statsstödda fonder och investeringar för hydrauliska arbeten. Detta bröt mot lokala traditioner med byte av vatten för arbete. Priserna på vatten drevs upp och bönderna frestades att odla cashcrops för att få pengar till vatten istället för att fortsätta med livskraftiga lokala produktionssystem. Rådgivningen som med en övertro på västerländsk teknologi visade förakt för arbetskrävande traditionella metoder hade också haft stor betydelse för att utvecklingen skedde från markvårdande vattenhushållning till ett överuttag av grundvatten genom brunnar. I Tunisien har antalet brunnar ökat från 20 000 i början på 60-talet till 60 000 i början på 80-talet. Han menar att övergivandet av traditionella metoder ger;

* Ökad avrinning och erosion och minskad infiltration.

* Minskad återfyllning av vattenreserver.

- * Begynnande uttorkning och försaltning pga överexploatering av brunnar.

De sociala bakslagen menar han är mer allvarliga. De består i;

- * Avfolkning av bergsfoten.
- * Överbefolkning inne i slumområden.
- * Stora risker att förlora lokal kunskap och ackumulerad teknisk kunskap.

En av anledningarna till övergivandet av traditionella water harvesting system i Nordafrika och Mellanöstern är förskjutning av arbetskraft från jordbruket till mer välbetalda arbeten inom industri och turism. Nord Yemen producerade med bevattning genom water harvesting ett överskott av spannmål fram till och med 1960 inom ett feodalt markägandesystem. Idag är Nord Yemen nettoimportör vilket beror delvis på befolkningsökningen och bristande jordreformer men också på att många flyr landsbygden till högavlönade arbeten i t ex Saudi Arabien vilket leder till brist på arbetskraft ute på landsbygden (Pacey, 1986).

När väl traditionella system för hushållning med mark och vatten har övergivits kan det vara svårt att återgå till gamla arbetskrävande metoder. Reij (1988) diskuterar en del av problemen vid nyetablering av markvårdsprojekt med rainwater harvesting. Ett stort problem är hur man skall åstadkomma ökat folkligt deltagande. Reij (1988) menar att om projekten vid konstruktion för mycket baseras på betalning för arbete sker inget frivilligt underhåll av konstruktionerna så fort projektet är slutfört. Framgång med underhåll av konstruktioner är en viktig del i RWH/markvårdsprojekt och bör diskuteras i projektets planeringsstadium. Det finns en konflikt mellan projekt som anordnas för kollektiva ändamål och de som ordnas för individuella/familjeändamål. I allmänhet föredras projekt på familjebasis. Det krävs mer än bara demonstrationer av metoder och tekniker innan man kan övertyga bönder att anamma metoderna (Hogg, 1986).

Reij (1988) diskuterar ekonomiska aspekter och menar att det finns väldigt lite data gällande kostnader kontra fördelar med RWH. Dessa data är nödvändiga för att kunna göra realistiska bedömningar av potentialen för RWH i området söder om Sahel. Många fördelar kan vara svåra att bedöma. Orev (1988) menar att ofta kan en mer korrekt värdering av water harvesting vara t ex insatt arbete jämfört med mängd energi i den mat som produceras. Detta gäller bönder som bor långt ifrån arbetstillfällena för vilka produktion med water harvesting är en kompletterande syssla vid sidan av djurskötsel.

7 DISKUSSION

Den snabba befolkningsutvecklingen och problem med torka och erosion gör att en av de centrala frågorna för många u-länders överlevnad är hur man skall klara av en ökad lokal produktion av livsmedel. Problemen är komplexa. Sociala, ekonomiska och politiska faktorer avgör hur olika länder klarar av befolkningsökningar och ökade krav på livsmedelsproduktion. Vatten är ofta den viktigaste begränsande faktorn. Rainwater harvesting är en markvårdsåtgärd för att koncentrera vatten och därigenom kunna producera på marginella jordar och vid låg nederbörd. Kunskaper om dessa metoder har förmodligen alltid funnits men metoderna har gradvis övergivits av olika skäl. Brist på arbetskraft pga urbanisering, övertro på västerländsk teknologi som skapar förakt för gamla traditioner och förändringar i lokalklimat med extrem torka varvat med översvämningar är några av orsakerna till degraderingen av systemen.

Kutsch (1982) har gjort en karta över områden som är lämpliga för RWH ur klimatologiska och jordartsmässiga förhållanden. Pacey (1986) menar att det är slående hur dessa områden överrensstämmer med områden som 1983-84 drabbades av torka och svält. Många författare och entusiaster för rainwater harvesting skulle förmodligen hålla med Bruins et al. (1986) då de skriver: "Rainwater harvesting för växtproduktion är en specialiserad form av "rainfed farming" som har en väsentlig potential att öka livsmedelsproduktionen i de arida zonerna av vår planet." Le Houérou & Lundholm (1976) anser att det finns en betydande potential för RWH i arida regioner och menar att dessa inte har prövats i flera regioner beroende på bristande kunskaper. De bedömer att 3-5 % av de arida zonerna skulle kunna brukas med RWH. Denna positiva bedömning av möjligheterna med rainwater harvesting för den tredje världen är den vanligast förekommande.

Hogg (1988) däremot är mer kritisk till att se rainwater harvesting som frälsningsläran som ska rädda den tredje världen från svält och torka. Han menar att de goda resultaten som har uppnåtts idag i Israel med RWH har varit kapitalintensiva. Framgångarna har skett under speciella sociala och ekonomiska omständigheter, vilka troligtvis inte kan rekonstrueras i Afrika söder om Sahara. Han menar att rainwater harvesting har stor betydelse för att förbättra planttillväxt och att minska erosion, men att det är viktigt att mer uppmärksamhet riktas på sociala och ekonomiska problem innan man introducerar enkla tekniker som har för avsikt att öka produktionen lavinartat. Han grundar sina åsikter på studier av projekt i Kenya, där flera stora projekt av typ "food for work" har funnits länge.

Jag håller med Hogg om att RWH inte får ses i ett renodlat tekniskt sammanhang, utan sociala och ekonomiska aspekter bör alltid finnas med i resonemangen vid planering av RWH. Underhåll av konstruktionerna är centralt för att kunna bygga upp system som fungerar i långa loppet. För detta krävs motivation och en tro på att metoderna fungerar, vilket kan vara svårt att tvinga på folk utifrån. Rainwater harvesting grundar sig på en idé om småskaliga system och har sin styrka just där.

Bruins et al. (1986) skriver "Regn är fortfarande den billigaste och ofta enda tillgängliga källan för bevattning, däremot ej pålitlig. I många områden finns det inga alternativ förutom en bättre och mer effektiv användning av regnvatten." Rainwater harvesting kan naturligtvis inte lösa alla problem med vattenförsörjning i u-länder men regnvattnet kan otvivelaktigt utnyttjas effektivare i många områden.

En aspekt av RWH är hur lönsamma rainwater harvesting metoderna är i förhållande till insatserna. Vissa fördelar med rainwater harvesting är väldigt svåra att värdera. Den positiva inverkan på miljön består huvudsakligen av minskade problem med försaltning, uteblivna gödslingsåtgärder pga naturlig översvämning med sediment, minskad erosion, ökade möjligheter till användning av marginella jordar och ökad växtlighet i områden som har stora problem med återkommande översvämningar pga av bristande vegetation.

Denna litteraturöversikt tar upp en del av vad som har skrivits om rainwater harvesting. Termen rainwater harvesting används för ett antal olika metoder för att samla in och koncentrera regnvatten från ett större avrinningsområde till en mindre yta. I den här uppsatsen behandlas insamling av regnvatten för bevattning. Metoderna används främst i arida och semiarida områden. Rainwater harvesting har traditioner långt tillbaka i tiden. Blomstrande kulturer i Negevöknen, Saba-riket och även i Nordafrika använde dessa metoder och kunde på så vis överleva i områden med mycket låga nederbörds mängder. Starka sociala strukturer gjorde det möjligt att utveckla och underhålla arbetskrävande konstruktioner. Liknande metoder används utbrett fortfarande idag i Afrika, Asien och Mellanöstern, men försvinner i takt med att landsbygden avfolkas i flera Afrikanska länder. Fördelarna med RWH kan vara svåra att värdera ekonomiskt vid planering av markvårdsprojekt. En del av dessa fördelar är förbättrad hushållning med växtnäringsämnen, minskade problem med erosion, minskade problem med försaltning, ökade möjligheter att odla på marginella jordar och att metoderna inte kräver tekniskt avancerad utrustning. Nackdelarna med metoderna är att de är arbetskrävande, kräver mycket underhåll och slås ut helt vid extrem torka och problem med översvämningar.

Avfolkning av landsbygden, lokal rådgivning med övertro på västerländsk teknologi och biståndsorganisationers oförmåga att ta till vara lokal kunskap har lett till att traditionella metoder har övergivits och i vissa områden grundvatten har överutnyttjats vilket har lett till ökad försaltning. Brunnar borrar och vattenkrävande grödor odlas vilket leder till ökat behov av vattenuttag.

Metoderna ses av många författare som en väsentlig potential för att öka livsmedelsproduktionen i de arida zonerna. Andra varnar för en tro på att rainwater harvesting är frälsningsläran som ska rädda den tredje världen från svält. Sociala, ekonomiska och politiska faktorer är fortfarande avgörande för hur ett land lyckas med sin interna produktion. Goda resultat som har uppnåtts i Israel med RWH har varit kapitalintensiva och har skett under speciella sociala omständigheter. Rainwater harvesting får inte ses i ett renodlat tekniskt perspektiv.

Trots allt är en utveckling av och en ökad satsning på metoder för rainwater harvesting nödvändig då regn är den enda tillgängliga vattenkällan i många områden. I kampen mot erosion och försaltning av marker och strävan efter en ökad lokal produktion av livsmedel dessa metoder betydelsefulla.

- el Amami, S. 1977. Traditional technologies and developement of the African environments. Utilization of runoff waters: the "meskats" and other techniques in Tunisia. African Environment, 11-12. Vol III, 3-4. 107-120.
- el Amami, S. 1983. Changing concepts of water managements in Tunisia. Impact of Science on Society, No 1. 57-64.
- el Amami, S. 1984. Les Amenagements traditionnel dans la Tunisie. Centre de Recherche du Génie Rural. Tunis.
- Arnon, I. 1972. Crop production in dry regions. Vol. 1. Cox & Wyman Ltd. 1-650.
- Berntsson, R. 1985. Hydrologiska problem i samband med vattenutnyttjande i Tunisien. Vatten 41. 225-229.
- Boers, Th. M. & Ben-Asher, J. 1980. Harvesting water in the desert. Annual Report, 1979. International Institute for Land Reclamation and Improvement. 6-23.
- Boers, Th. M. & Ben-Asher, J. 1982. A review of rainwater harvesting. Agricultural Water Management. Vol 5, No 2. 145-155.
- Boers, Th. M., De Graaf, M., Feddes, R.A. & Ben-Asher, J. 1986 a. A Linear Regression Model Combined with a Soil Water Balance to Design Micro-Catchments for Water Harvesting in Arid Zones. Agricultural Water Management, 11. 187-206.
- Boers, Th. M., Zondervan, K. & Ben-Asher, J. 1986 b. Micro-Catchment-Water-Harvesting (MCWH) for Arid Zone Development. Agricultural Water Management, 12. 21-39.
- Bruins, H.J., Evenari, M. & Nessler, U. 1986. Rainwater-harvesting agriculture for food production in arid zones: the challenge of the African famine. Applied Geography, 6. 13-32.
- Brunner, U. 1983. Die Erforschung der antiken Oase von Marib mit Hilfe geomorphologischer Untersuchungs-methoden. Archäologische Berichte aus dem Yemen 2. cit. Brunner & Haefner, 1986.
- Brunner, U. & Haefner, H. 1986. The sucessful floodwater farming system of the Sabceans, Yemen Arab Republic. Applied Geography, 6. 77-86.
- Clouet, Y. 1979. Possibilités d'améliorer les techniques agricoles: l'exemple du Yemen du Nord. Actes du Colloque du CENECA. cit. Pacey, 1986.
- Electrowatt. 1978. Ma'rib Dam and Irrigation Project. Zurich: Electrowatt. cit. Brunner & Haefner, 1986.
- Evenari, M., Shanan, L., Tadmor, N. & Aharoni, Y. 1961. Ancient agriculture in the Negev. Science. Vol 133, No 3457. 979-996.
- Evenari, M., Shanan, L. & Tadmor, N. 1968. "Runoff Farming" in the Desert. I. Experimental Layout. Agronomy Journal 60. 29-32.

- Evenari, M., Shanan, L. & Tadmor, N. 1971, 1982. The Negev-the challenge of a desert. Cambridge, Mass.: Harvard University Press. cit. Reij et al. 1988, cit. Bruins et al., 1986.
- Gardner, W. H. 1964. Research for more efficient water use. soil physics. Research on Water Soil Science Society. Wisconsin, Madison, America. 85-94. cit. Arnon 1972.
- Glaser, E. 1897. Zwei Inschriften über den Dammbruch von Märib. Mitteilungen der Vorderasiatischen Gesellschaft 6. cit. Brunner & Haefner, 1986.
- Hogg, R. 1988. Water Harvesting and Agricultural Production in Semi-arid Kenya. Development and Change. Vol 19, No 1. 69-87.
- Kassas, M. 1972. A brief history of land-use in Mareotis region, Egypt. Minerva Biologia 1(4), 167-174. cit. Bruins et al. 1986.
- Kolarkar, A. S., Murthy, K. N. K. & Singh, N. 1983. "Khadin" - A method of harvesting water for agriculture in the Thar Desert. Journal of Arid Environments, 6. 59-66.
- Kutsch, H. 1982. Principal features of a form of water concentrating culture. Trier Geographical Studies No 5; Trier västtyskland. cit. Pacey 1986.
- Le Houérou, H. N. & Lundholm, B. 1976. Complementary activities for the improvement of the economy and the environment in marginal drylands. A study with emphasis on Africa. Ecological Bulletin 24. 217-229. Stockholm: NFR. cit. Bruins, 1986.
- Lindh, G. 1988. Bevattningens historia i Medelhavsområdet. Svensk Geografisk Årsbok. 39-54.
- Myers, L. E. 1975. Water harvesting 2000 B.C. to 1974 A.D. Proc. Water Harvesting Symposium. Phoenix, Arizona. 1-7. cit. Boers et al., 1980.
- Nabhan, G. P. 1986. Papago Indian desert agriculture and water control in the Sonoran Desert, 1697-1934. Applied Geography 6. 43-59.
- National Academy of Sciences, 1974. More water for arid lands. Nat. Ac. of Sci. Washington D.C. 1-154. cit. Boers et al., 1980.
- Oosterbaan, R. J. 1983. Modern interferences in traditional water resources in Baluchistan. ILRI annual report 1982: Wageningen. 23-34. cit. Reij et al., 1988.
- Orev, Y. 1988. Some Agricultural Considerations in the planning of Runoff Farming. Desertification Control Bulletin, 16. 13-16.
- Pacey, A. & Cullis, A. 1986. Rainwater harvesting. The collection of rainfall and runoff in rural areas. Great Britain (Bristol): Intermediate Technology. 1-216.
- Pritchard, J. B. 1974. Salomon and Sheba. London: Phaidon Press. cit. Brunner & Haefner, 1986.
- Rapp, A. 1985. Naturresurser och miljöproblem i nordafrika med nildalen. Svensk Geografisk Årsbok. 145-165.

- Rapp, A. 1988. Mellanösterns klimathistoria under 10 000 år och klimatanpassat ökenjordbruk. Svensk Geografisk Årsbok. 9-24.
- Reij, C., Mulder, P. & Begemann, L. 1988. Water Harvesting for Plant Production. World Bank technical paper no 91. Washington, D.C. 1-123.
- Schoch, R. 1978. Die antike Kulturlandschaft des Stadtbezirkes Saba und die heutige Oase von Ma'rib in der Arabischen Republik Jemen. Geographica Helvetika 33(3). cit. Brunner & Haefner, 1986.
- Shanan, L., Evenari, M. & Tadmor, N. H. 1967. Rainfall patterns in the central Negev desert. Israel Exploration Journal, 17. 163-184. cit. Rapp, 1988.
- Sharma, P.N., Neto.F., Porto. E. & De Silva, A. 1984. Runoff inducement for agriculture in very arid zones of the northeast Brazil. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 19: 1011-1019. cit. Reij 1988.
- Shaw, B. D. 1982. Lamasba: an ancient irrigation community. Antiquités africaines 18. 61-103.
- Yair, A. 1983. Hillslope hydrology, water harvesting and areal distribution of some ancient agricultural systems in the Northern Negev desert. Journal of Arid Environments 6. 283-301. cit. Reij 1988.

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien fr o m 1989

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE.

- 89:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1988 års fältförsök avseende detaljavvattningsmarkvård och markförbättring samt bevattning. 70 s.
- 89:2 Persson, L. & Jernlås, R. Apparat för kolonnexperiment under omättade förhållanden. Manuskript.
- 89:3 Berglund, K. Ytsänkning på mosstorvjord. Sammanställning av material från Lidhult, Jönköpings län. 18 s.
- 89:4 Messing, I. Saturated hydraulic conductivity as related to macroporosity in clay soils. 21 s.
- 89:5 Karlsson, I. M. Markbyggnad för bostads- och rekreationsområden. Prioritering av forskningsinsatser. 17 s.
- 89:6 Håkansson, A. Filtermaterial för dränering. Kommentarer till en serie demonstrationsprover av grus- och sågspånsmaterial. 11 s.
- 89:7 Persson, R. & Wredin, A. (red.). Vattningsbehov och näringstillförsel. Föredrag presenterade vid NJF-seminarium nr 151, Landskrona 1-3 aug 1989. 275 s.
- 89:8 Nitare, M. Rotutveckling i majs. Examensarbete i hydroteknik. 39 s.
- 89:9 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A. Kompendium i elementär hydromekanik. 8: Hydraulisk likformighet samt dimensionsanalys. 30 s.
- 89:10 Karlsson, I. M. Effekten av jordkonditioneringsmedlet ammonium-lauretsulfat på den hydrauliska konduktiviteten i vattenmättat tillstånd i två svenska lerjordar. 16 s.
- 90:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1989 års fältförsök avseende detaljavvattningsmarkvård och markförbättring samt bevattning. 73 s.
- 90:2 Jansson, P.-E. (ed.). The Skogaby Project. Project description. 77 s.
- 90:3 Berglund, K., Lindberg, K. & Peltomaa, R. Alternativa dräneringsmetoder på jordar med låg genomsläpplighet. 1. Ett nordiskt samarbetsprojekt inom Nordkalottområdet. 20 s.
- 91:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1990 års fältförsök avseende detaljavvattningsmarkvård och markförbättring samt bevattning. Manuskript.
- 91:2 Persson, R. & Wesström, I. Markkemiska effekter av bevattning med Östersjövatten på Öland. 23 s + 5 bil.
- 91:3 Eckersten, H. WIGO model. User's manual. 30 s.
- 91:4 Eckersten, H. SPAC-GROWTH model. User's manual. 32 s.
- 91:5 Stenlund, S. Rainwater harvesting - Metoder för uppsamling av regnvatten för bevattning. En litteraturöversikt. 24 s.